

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01M 8/04

H01M 8/24



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00816355.3

[43] 公开日 2003 年 3 月 12 日

[11] 公开号 CN 1402892A

[22] 申请日 2000.12.1 [21] 申请号 00816355.3

[30] 优先权

[32] 1999.12.3 [33] IT [31] MI99A002531

[86] 国际申请 PCT/EP00/12099 2000.12.1

[87] 国际公布 WO01/41241 英 2001.6.7

[85] 进入国家阶段日期 2002.5.28

[71] 申请人 纽韦拉燃料电池欧洲有限责任公司

地址 意大利米兰

[72] 发明人 M·布兰比拉 G·马祖切利

G·P·弗雷巴 A·马吉奥尔

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

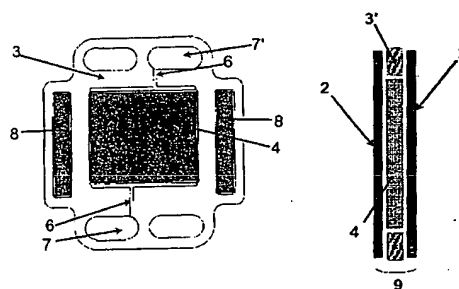
代理人 王 杰

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称 聚合物膜燃料电池堆

[57] 摘要

本发明公开了气体进料的聚合物膜燃料电池堆的一种改进设计。该电池堆具有利用水流在高比表面积金属材料上的雾化作用的润湿装置，和通过在周边区域，即单电池活性区外围的热交换来吸取电池产生的热量的冷却回路。该装置特别适合于高温度和高电流密度的操作。



ISSN 1008-4274

1. 一种直流电发电机，由包括如下元件的排列构成：由金属板限定的供给气态反应物的聚合物膜燃料电池，和由金属板限定的用来润湿至少一种气态反应物的池，其中，燃料电池具有垫片，该垫片限定了至少一个电池活性区，该活性区内容纳第一网状金属材料，其特征在于，

通过在至少一个冷却回路内循环至少一种流体，从限定所述燃料电池的金属板的区域内吸取燃料电池所产生的一部分热量，其余部分的所述热量通过来自润湿池的液态水的蒸发来吸收。

2. 权利要求1的发电机，其特征在于，由其吸取所述部分热量的所述至少一种循环流体通过的所述金属板的所述区域邻近所述的电池的活性区。

3. 权利要求2的发电机，其特征在于，由其吸取所述部分热量的所述至少一种循环流体通过的所述金属板的所述区域含有高孔隙率的第二网状金属材料。

4. 前述权利要求任意一项的发电机，其特征在于，用于润湿至少一种气态反应物的池具有垫片，该垫片容纳了具有高孔隙率的第三网状金属材料。

5. 权利要求4的发电机，其特征在于，向其供给的水量超过了使所述至少一种气态反应物饱和所需要的量。

6. 权利要求4的发电机，其特征在于，所述第一、第二和第三网状金属材料选自金属泡沫体、烧结材料、网、网眼片及通过并置其至少两种材料得到的任意组合。

7. 权利要求4的发电机，其特征在于，构成所述第一、第二和第三网状金属材料的材料包括镍或至少一种其合金。

8. 权利要求1的发电机，其特征在于，用来使至少一种反应物润湿的池是使含氧气的氧化剂润湿。

9. 权利要求8的发电机，其特征在于，所述含氧气的氧化剂是环境空气。

10. 权利要求1的发电机，其特征在于，用来使至少一种反应物润湿的

池是使含氢气的燃料润湿。

11. 权利要求 1 的发电机，其特征在于，属于所述范围的在池内润湿的至少一种反应物随后被供给到具有绝热内壁的支管。

12. 权利要求 11 的发电机，其特征在于，所述支管是通过按照压滤器型排列并置限定燃料电池的金属板上的孔得到的，并且所述支管内壁的绝热是通过插入一个由绝热材料构成的管来实现的。

13. 权利要求 1 的发电机，其特征在于，通过一个具有绝热内壁的支管向所述用于使至少一种气态反应物润湿的池供给所述反应物和水。

14. 权利要求 13 的发电机，其特征在于，所述支管是通过按照压滤器型排列并置限定燃料电池的金属板上的孔得到的，并且所述支管内壁的绝热是通过插入一个由绝热材料构成的管来实现的。

15. 一种发电机，其特征在于，它含有附图和说明书中所述的独特元件。

聚合物膜燃料电池堆

发明背景

本发明涉及聚合物膜堆叠燃料电池。燃料电池是直接的电化学反应发生器；换句话说，它们转化燃料（例如含氢气的气态混合物，或轻醇如甲醇或乙醇）与氧化剂（例如空气或氧气）反应的自由能，而不使该自由能完全退化为热能，并因此避免受到卡诺循环的限制。这样的转化是通过燃料在电池的阴极上发生电化学反应而实现的，阴极上的电化学反应释放出 H^+ 离子，同时氧化剂在阳极被还原，该还原反应消耗 H^+ 离子；所述离子从电池的阴极区通过合适的电解质迁移到电池的阳极区。在聚合物膜电池中，这样的电解质是由阳离子交换膜构成，它同时起到气态反应物的物理隔离物的作用，并用作阳离子导体，同时表现出基本上为零的电子传导，使得电发生器的电动势最大化。上述的燃料氧化的半反应和氧化剂还原的半反应通常是在与聚合物膜的两边紧密接触的催化剂的帮助下进行的。

燃料电池被认为是传统发电系统的优异替代者，最主要是由于其极其有利的对环境的影响（没有有毒的排放物和噪音，释放出水作为副产物）；它们既用于各种规模的固定的发电领域（电厂，连续性或应急发电机等），也用于移动应用领域（电动汽车应用，用于空间、水下和海洋应用的推动能量或辅助能量的产生）。

与其它燃料电池相比，聚合物膜燃料电池具有更进一步的优点，因其启动快速，并实现了最佳操作条件、高的能量密度、内在的可靠性（因为其没有移动的部件，并且从材料的观点看没有腐蚀现象和大的热循环）；事实上，在现有技术的所有燃料电池中，聚合物电解质燃料电池表现出绝对最低的操作温度（通常为 $70\sim 100^{\circ}\text{C}$ ）。

然而，在这样的条件下进行操作带来好处的同时，也带来一些局限性，例如催化剂在低温下活性较低，催化剂极易受到一氧化碳的影响（在

来自一般的工业方法的氢气基燃料混合物中不可避免地存在的一氧化碳)，不能通过热电联合系统利用产生的热量。

为此，在该技术领域，最近的趋势之一是开发能够在略高的温度下（100~150℃）操作的聚合物膜，以显著减少上述缺点，同时不会引起严重得多的那些缺点，即在热循环、侵蚀现象、构造材料的物理性质等方面，这些缺点妨碍了高温燃料电池（200~800℃）用于低和中等规模的应用。

另一个流行趋势是开发能够在同样电池电压下，即在同样水平的系统电效率下，在更高的电流密度下工作的膜。电流密度的增加可以在实际上提高燃料电池堆的动力和能量密度，从而降低每装机功率的材料成本。这对于该应用的工业化成功是极为重要的一点，该应用目前仍然受制于成本，其成本与竞争技术的成本相比不总是有竞争力。

最近人们开始考虑的一个趋势涉及开发在近大气压力下使用气态反应物的燃料电池堆，通过使用环境空气或略微压缩的空气来降低操作成本。就燃料电池的水和热的管理而言，所有上述列举的因素导致对系统越来越苛刻的要求，这已经成为这类装置设计中最棘手和重要的方面中的两个。众所周知，前一方面，即燃料电池的水的管理是复杂的，因为存在两个与系统的两个至关重要的元件相关的相反要求：事实上，离子交换膜必须保持在充分水合的状态以建立足够的离子传导性，由此防止发生过分的阻抗，而过分的阻抗将严重影响电效率，甚至在最坏的情况下完全终止发电机的运转。另一方面，必须连续地向发生两个半反应的催化剂位点供给气态反应物以维持整个过程的持续进行。只有在催化剂位点没有被能够隔绝气体的过量液态水层覆盖的情况下，这种向催化剂位点的气体供给才能够恰当地实现，因为气体扩散通过这样的水层速度太慢，以至于会引起扩散障碍（diffusive penalties），这又会严重影响整个系统的电效率。

水的管理必须考虑在阳极通过阴极半反应产生的水，所述的水通过扩散作用从阳极区迁移到阴极区的部分，在水合壳通过氢离子输送的水，和通过气态废气出口从系统中带出的水。因此，为了补偿总带出量与产

生量间的差值，必须与反应物一起向电池的各区供给足量的水。特别地，在操作条件和产生的电流密度方面（后者是局部加热的又一来源，并且增加了水从离子交换膜的蒸发）采用更严苛的工艺条件要求增加向系统供给的水量，而这是不容易实现的，尤其是在低压下，其中增加的气体膨胀增大了其在给定摩尔流速下的体积流速，由此也提高了气流从电池中带走水的能力。

燃料电池的整体热平衡不太复杂，然而它与并不更简单的技术问题相关。在高电流密度下运转的燃料电池内产生的热量是相当大的，并且该热量必须被有效地排出以实现稳定的操作温度，否则它也会影响系统的水管理，二者间有协同效应，其一旦开始后就不容易反转。另外，当达到高温时，即使是局部的并且持续有限的时间，也容易发生膜的结构失效，而膜属于整个装置中最昂贵的组件，并且在不损坏电池堆的其它组件的条件下很难更换膜。因此，必须提供一种对排热来说有效的系统，而且该系统不能有太大的质量和体积约束，这种约束将妨碍系统的竞争力，特别是对于某些应用（例如在电动汽车领域）。

缓和在排热方面存在的问题的一种有效手段是选择具有足够高热交换系数的材料用于燃料电池的制造。例如，U.S.P. 5,482,792 公开了采用双极板、端板和集电体的燃料电池堆，其表面用于进行维持热交换，并由各种金属材料（铝和镍合金、钢等）制成。高表面网状材料（金属泡沫体、烧结材料、网或网眼片的重叠）作为集电体的应用，也同时具有两种功能，即使气态反应物润湿和排出产生的热量，如专利申请 PCT/EP 00/03171 中所述，其中公开了燃料电池堆，该燃料电池堆具有一个专用回路用于将水注射进装配有这种集电体的单电池内。这样，通过发生在具有高比表面积材料上的部分蒸发排出热量，利用未蒸发的剩余部分的水来使膜润湿。这样一种装置允许燃料电池堆以比传统系统高的电流密度进行操作，例如其包括将反应物在适当的加压槽内鼓泡来使反应物预先润湿，同时在独立回路中供给一个分开的水流，使水流通过设置在各双极板内部的合适的凹槽。这样的水流使得可以通过所述双极板的表面排出热量。尽管通过公开于专利申请 PCT/EP 00/03171 的设计可以简化

生产过程，但是后一装置在操作方便性方面明显受到限制，因为膜的润湿只能用纯水（至少是软化水）来实现，并且同一流体被用于排热。因此很明显，按照该设计的电发生器在临界条件下的温度、压力和电流密度的操作，将因不能利用具有更好性能的冷却流体而受到影响。

对于使供给给燃料电池堆的气态反应物预先润湿而言，专利申请 PCT/EP 00/04476 公开了一种有效的系统，该系统利用添装有网格状金属材料的装置，同时给入被润湿的气体 and 校准的液态水流。该系统比传统的气体鼓泡器更紧凑和有效，然而该系统不能同时冷却电池，因为水流的部分蒸发发生在远离电池的活性区的地方，而电池的活性区是释放出热量的地方。一旦将所述完全饱和的气流供给给电池，其将阻止水从膜上蒸发，由此使膜保持良好的水合状态，但是这时只有提供一个外在手段进行热调节，才能维持电池温度恒定。

用于燃料电池堆热调节的常规装置都带来重量、体积和因制造复杂而成本增加的问题，尽管金属材料的应用明显改善了热交换效率。一种用于排出反应热的通常使用的系统是在双极板内提供凹槽，合适的冷却剂循环通过该凹槽。这意味着，为了容纳所述凹槽，得到的板将相当厚，并且由于双极板制造所需要的机加工，该板复杂而昂贵。更方便的技术方案则是在两个平滑而薄的壳间在适当的垫片帮助下形成凹陷，用金属插件保持薄片间的电接触，这样形成双极板。所述凹陷可以方便地用来在其间循环冷却剂，并且造成的机械方面的复杂性是有限的。但是，结构稳定性方面的明显原因仍使每个双极板的总厚度相当厚。欧洲专利申请 0 896 379 公开了冷却燃料电池堆双极板的方法，其制造工艺更简单。该发明预言，可以通过在双极板的周围区域，即电池活性区外围循环冷却流体，从燃料电池堆的双极板排热。用该方法，板的厚度可以大大减小，因为不用在板的内部提供循环手段。该技术方案使得在工艺条件，特别是操作温度和电流密度方面不太严苛时，可以获得可接受的性能。事实上，通过板的周围部分排热意味着，在电池表面将建立起横向的热梯度：换句话说，每个电池的最内部区域将比最外部区域更热，并且这样一种现象将反映在聚合物膜的稳定性上，聚合物膜将发生不规则的热

膨胀，并且可能造成局部脱水的现象，而这些现象又将造成离子传导性和机械性能的直线下降。所有这些都对电池设计（在活性区的宽度方面）带来不希望有的限制，因为电池的中心与边缘间的距离越大，热梯度将越陡。而且，为了保持膜的最内部区域的温度在最高允许温度之下，最外围区域必须保持在非常低的温度。而最后这一因素又造成两个严重缺陷：第一，两个半反应中的相当大的部分将在对于催化剂活性和膜的离子传导性来说不希望的低温下进行；第二，对于系统的整体经济性来说，在太低的温度下循环冷却剂将是过分的要求，对于某些类型的应用（例如对于汽车牵引）甚至是无法实施的。

发明内容

本发明的一个目的是提供一种具有由金属材料制成的双极板和端板的燃料电池堆，该燃料电池堆可以在宽的工艺条件下运转。

本发明的另一个目的是提供一种具有由金属材料制成的双极板和端板（end plate）（其特征在于低的重量和体积）的燃料电池堆，适于通过不需要昂贵的机械加工而制得。

本发明的又一个目的是提供一种适合宽活性表面的燃料电池堆的设计。

本发明的再一个目的是提供一种燃料电池堆的设计，其采用一种高效率的润湿系统和双冷却系统，该冷却系统部分整合到所述润湿系统中，并可以利用多种流体进行热量调节。

本发明包括一种电池堆，该电池堆包括燃料电池和润湿池，以一种压滤器型排列方式来堆叠，相互之间用金属板隔离并通过该金属板保持电串连。相邻两块板间的液压密封是通过框架形的适当设计的垫片来实现的，每个垫片在各个板的各表面上，分别限定了一个周边区域（相应于框架）和一个中心区域（在垫片内）。所述板的边缘区域有孔，在将上述组件堆叠起来时，这些孔形成多个支管，用来供应气态反应物和水、排出废气组分和在边缘区域的限定空间内循环冷却流体。对于每个电池来说，按照已知的设计程序并根据压滤器（filter press）型排列方式的概念，通过不同垫片的适当设计，可以决定这多个管中哪一个与各板

的中心区域相通，哪一个在旁边绕过。

由各垫片所限定的中心区域填充具有高孔隙率，优选不低于50%的网状金属材料，例如金属泡沫体、烧结材料或重叠的网或网眼片。

现在参考附图阐述本发明，其中：

图1显示了构成本发明装置一部分的燃料电池的横截面。

图2显示了构成本发明装置一部分的燃料电池的垫片。

图3显示了构成本发明装置一部分的润湿池的剖视图。

图4显示了构成本发明装置一部分的润湿池的垫片。

图5显示了本发明装置的一个可能实施方案的示意图，该装置通过按照压滤器型几何形状堆叠起燃料电池和润湿池而得到。

图6显示了一种可能的设计方案，该设计将本发明装置整合进带有用于热调节和使反应物润湿的辅助回路的装置中。

参考图1，每个燃料电池(1)限定在两个金属板(2)之间，并且包括一对垫片(3)和膜(5)，垫片的中心区域填充有前述的网状金属材料(4)，膜(5)的表面至少部分用催化材料活化。如图所示，所述网状金属材料(4)的一侧与邻近相应的垫片(3)的金属板(2)的表面接触，其另一侧与活化膜(5)的一面接触。

参考图2，相对于燃料电池(1)，提供各垫片(3)，在其周边区域，有用于从相应的燃料电池输入支管(7')给入气态反应物和用于将废气排放入相应的输出支管(7)的通道(6)，并有至少一个孔限定出至少一个区域(8)，在区域(8)中有冷却流体在适当的回路中循环以从邻近的金属板排出热量。优选地，至少存在两个冷却区域(8)，布置在垫片(3)的相对的两边。用具有良好热交换特性的高孔隙率的材料填充其中有冷却流体循环的区域(8)是有利的，并且优选使用在垫片(3)的中心区域所使用的相同材料(4)。

参考图3，每个润湿池(9)被限定在两个金属板(2)之间，并且包括一个垫片(3')，垫片内的区域填充网状的金属材料(4)，该金属材料使两个金属板保持电接触。

参考图4，各垫片(3')，在其周边区域，提供有用于从相应的输

入支管(10)给入将被润湿的反应物和水,及用于将已润湿的气体供给相关的燃料电池输入支管(7')的通道(6');还显示了用于排放废气的输出支管(7)。每个润湿池仅用来使一种反应物润湿;在燃料和氧化剂都需要被润湿的情况下,必须给两种反应物提供分开的润湿池。

图5显示了根据本发明的包括燃料电池(1)和润湿池(9)的堆叠物的一种可能排列。即使在图5的特定例子中,润湿池限定在电池堆的一端,以至于形成与电流产生区(13)隔离的润湿区(12),但是有利的是,按照不同的方式分布润湿池,例如再分为在电池堆两端的两个区,或者夹在小的燃料电池组之间,或者在电池堆的内部聚集。虽然如此,对于压滤器型电池堆领域的技术人员来说,很明显,为了更容易设计支管(7)和(7'),将润湿池(9)分布在电池堆的一端提供了一个特别优选的技术方案。仅仅作为一个例子,图6显示了一种可能的设计方案,将按照前面图5所示的特定几何形状装配的发电机整合进一个具有用于其操作的辅助回路的装置。当选择不同的技术方案以沿构成电池堆的模块布置分布润湿池(9)时,这样的整合将要进行有关的修改,而这样的修改是本领域专家的普通常识。在图6所示的电池堆中,向润湿区(12)供给氧化剂,例如空气,并通过设置在润湿垫片(3')内的相应通道(10)供给水。空气进料(未示出)可以通过压缩机、风扇或其他相当的手段完成。按照该设计方案,通过相应的支管(7)离开发电机的用过的空气,由一个外部管线(15)进料到分离器(16)中;然后液体组分被输送到换热器(17)并到达收集罐(18),如果需要,在整个循环中损失的水的补充也在收集罐中实现;将水从收集罐(18),通过管线(14)泵入到润湿区(12)。

还可以提供一个类似的回路用于燃料的润湿。

具有换热器(20)和收集罐(21)的单独的冷却回路(19),通过可以进行热交换的垫片(3)内的孔,向燃料电池区(13)供给选择的冷却流体,同时优选高表面积金属材料填充冷却区域(图2中的(8))。

如上述附图中所示,按照本发明,通过相关的通道(6')向润湿池(9)供给需要润湿的气体和水流,所述水流的量超过使供给的气体饱和

所需的水量。气体和水同时存在于高表面的网状材料(4)上,确保了气体的完全饱和,同时过量的水通过输出通道(6')呈液态排出。然后,饱和的气体和水混合物通过相应的支管(7')供给给燃料电池(1)。该系统可以用于润湿两种反应物或仅润湿一种;例如,对于采用纯氢气和空气进料的燃料电池,可以便利地仅润湿空气,而不用润湿氢气。通过循环适当的冷却流体(该冷却流体在相应的冷却区(图2中的(8))吸取热量)部分地冷却燃料电池(1)。很明显,合适流体的选择依工艺条件而变,特别是依工作温度而变。例如,可以利用水、油、醇、二元醇或本领域已知的其它物质。

在相应的冷却区域(8)排热仅对相当接近周边区域的部分活性区有效;如前所述,将建立起横向的温度分布,其中电池的最内部的区域容易过热。然而,令人惊奇的是,本发明人已发现,从润湿池(9)呈液态排入到燃料电池(1)的水在到达填充材料(4)的最内部并较热的区域后,发生局部蒸发,吸收了相应的潜热,冷却了该最内部区域,并使该处的气流保持饱和。这种通过两种不同的流体,在最内部和近周边区域实现的双重冷却机制,显示了令人惊喜的自调节特性,其原因可能在于,无论哪的热梯度例如由于产生的电流密度的增加而倾向于加剧,在电池的最内部区域蒸发的水量也倾向于增加,由此吸收更多的热量。当采用可变电负荷时,如用于汽车应用中的燃料电池的情况(在汽车应用中,要求电池能够对有时的对动力的特别显著的需求,例如相应于加速或陡坡时做出峰值响应),甚至更需要该特性。上述自调节冷却系统使得在非常苛刻的条件下也可以实现稳定的操作,前提是供给到润湿池(9)的过量的水,不仅在整体上是足够的,并且在局部上对于每个单燃料电池(1)也是足够的。为了确保适当地实现这一点,重要的是防止在燃料电池输入支管(7')内的局部冷凝现象,因此优选将输入支管(7')维持在均匀的温度。并置金属板(2)的孔所得到的燃料电池输入支管(7')存在缺点,即具有金属壁,因此会发生严重的热交换。特别有利的是,用合适的材料如塑料材料,在所述板的整个厚度内将这样的孔隔离起来,这样防止了使部分燃料电池(1)缺水的任何局部冷凝现象的发生。

实现所要求的绝热的最容易和最便宜的方法，是在输入支管（7）内插入带有合适的孔的塑料材料管或者其它的绝热材料管，以完全覆盖支管（7）的内壁。采用这种简单的便宜之计，上述整合的润湿和冷却系统使燃料电池堆即使在极严苛的工艺条件下也能够运转，使单电池间及大尺寸的模块的性能差别最小，如下面的实施例所更好地阐述的那样。

实施例 1

装配相应于图 5 的设计的装置，该装置包括活性面积为 0.1m^2 的 25 个串联的燃料电池，和位于压滤器排列的一端构成一个单独的润湿区的 5 个润湿池；建立起压滤器排列，使所有的 5 个润湿池被用于润湿供给到所述装置的同一种试剂。所述燃料电池包括 2mm 厚的如图 2 所示的垫片，和由 2mm 厚的 50%孔隙率的镍-铬泡沫体制成的填充材料。同样的填充材料用于润湿区的垫片，厚度也为 2mm。

供给封闭端（dead-end）的纯氢气（即没有任何再循环，其中通过压力平衡连续补充反应所消耗的氢气量；仅采用周期性的吹扫来排出运转中累积的惰性气体）和过滤并压缩的环境空气，运转如上得到的电池堆。空气流为 2 倍化学计量需要量，废气排放到大气中。所述装置如图 6 所示连接到一个冷却回路，该冷却回路包括循环泵、收集罐和换热器。但是与图 5 所示相反，气体供给旁通过润湿池，代之的是，来自压缩机的空气在 90°C 的自动调温的罐中鼓泡而饱和，空气的压力维持在燃料电池堆的阴极区压力加上压力降补偿。在冷却回路，以恒定流速（ $4\text{m}^3/\text{h}$ ）循环 50°C 的软化水。两种反应物压力都保持在 2 巴（绝压）。采用可变电阻负荷来控制电流输出；这样逐渐提高电流密度，直到确定在单电池电压不低于 0.4V 的条件稳定操作所能达到的最大电流密度。在这些条件下，该装置以稳定方式所产生的电流的电流密度可高达 $650\text{mA}/\text{cm}^2$ ；在更高的电流密度下，某些电池的电压可能急剧下降，这可能是局部过热的结果。将冷却水的流量提高到 $18\text{m}^3/\text{h}$ 仍无明显的效果。在这种情况下，存在这样一种危险，即一个或多个电池的电压甚至改变符号，使得这样的电池在邻近电池所施加的电压下作为水电解器来运转，使氢气有机会在空气进料室中产生；而且，局部过热现象可能导致重要的膜的结构快

速崩溃，使两种反应物有可能突然混合。这样试验会迅速停止。

实施例 2

将上面实施例的发电机连接到图 6 所示的装置上。改变两个条件，重复上面实施例的实验：压缩空气没有事先在鼓泡罐内饱和，而是与 30 l/h 的水流一起供给到装置的润湿区。另外，不使用冷却回路。在这样的条件下，该装置能够以稳定的方式产生 200 mA/cm^2 的电流密度；增加在润湿区的水流，产生的电流密度也可以平行增加，最高达 380 mA/cm^2 ，此时水流速为 72 l/h。超过这一电流密度水平，增加水流不再有明显的效果，并且由于装置的数个燃料电池电压的急剧下降，试验终止。

实施例 3

重复实施例 3 的试验，唯一的改变是冷却回路投入运转，使用 $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 的恒定流速的 50°C 的软化水。向润湿区供给 72 l/h 的水，在 9 小时的连续运转中，可维持 1050 mA/cm^2 的稳定电流密度，平均电池电压为 0.42V，最小单电池电压为 0.4V。

实施例 4

在空气输入支管中插入有适当的孔的 PTFE 管，这样有利地将空气输入支管绝热，防止了水在其壁上的过度冷凝，这样重复实施例 3 的试验。在这些条件下，在 9 小时的连续运转中，可维持 1200 mA/cm^2 的稳定电流密度，平均电池电压为 0.41V，最小单电池电压为 0.4V。

上面公开的实施例和附图所示的特定实施方案仅是用来举例说明本发明的原则，而不是用来限定其范围。本发明的范围由附加的权利要求来限定。

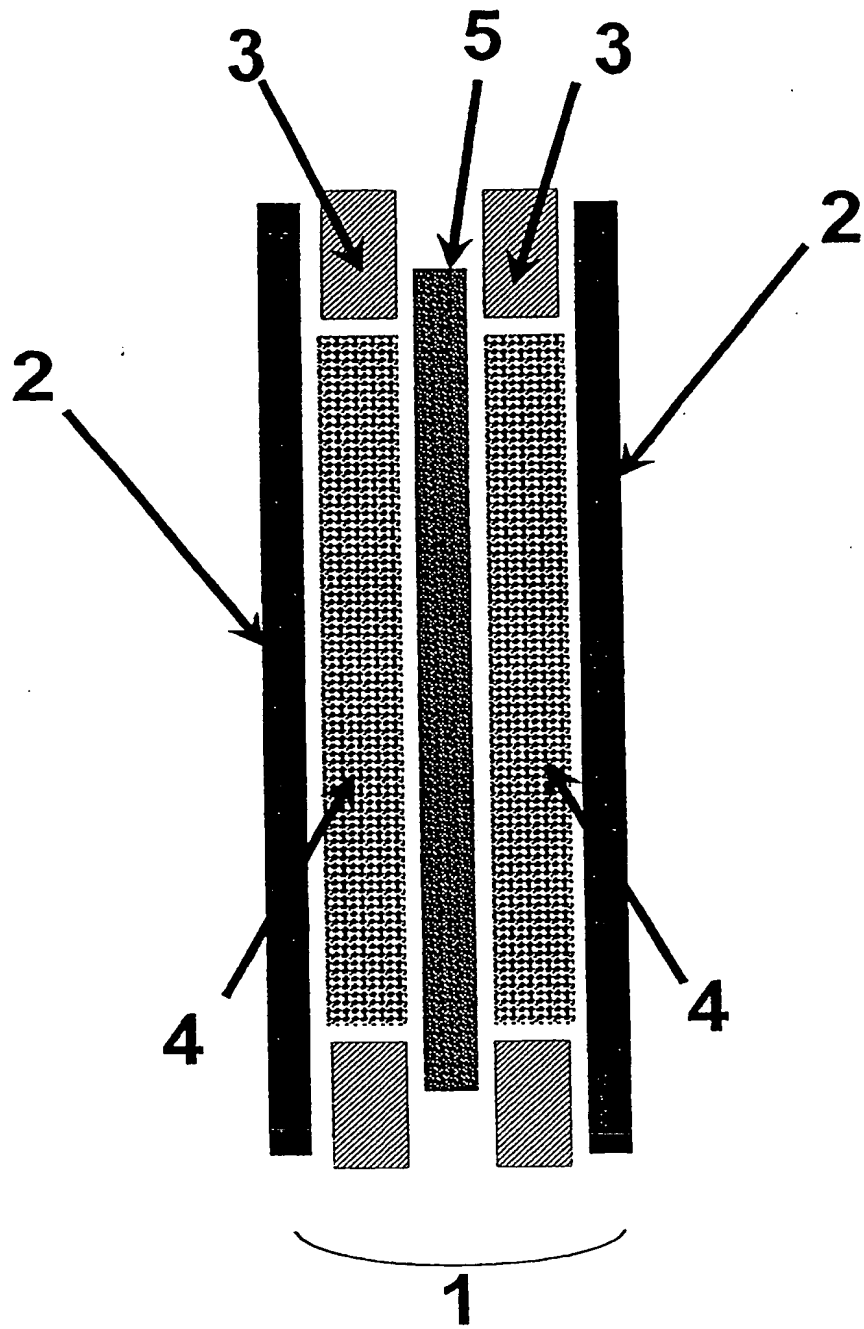
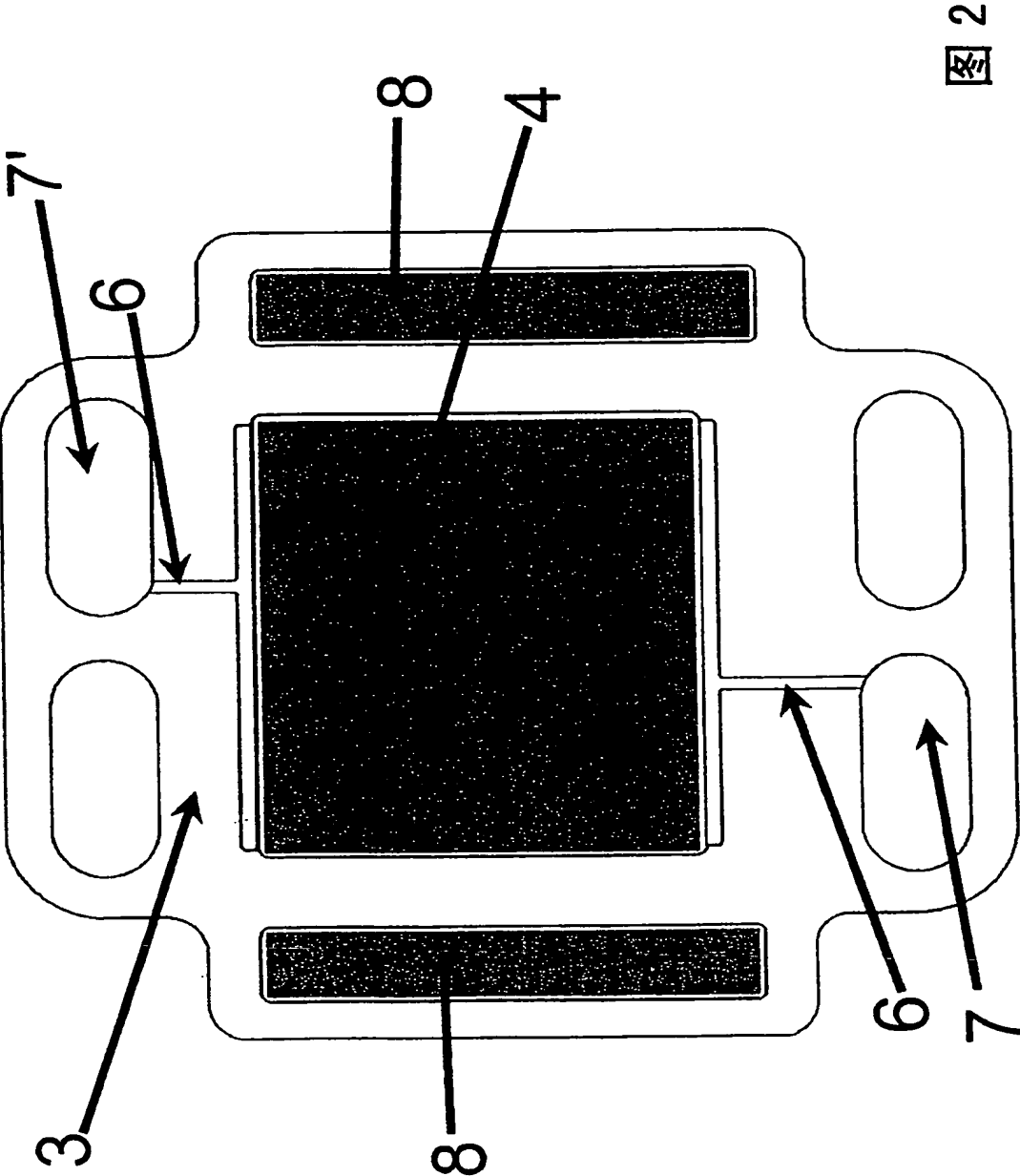


图 1



2

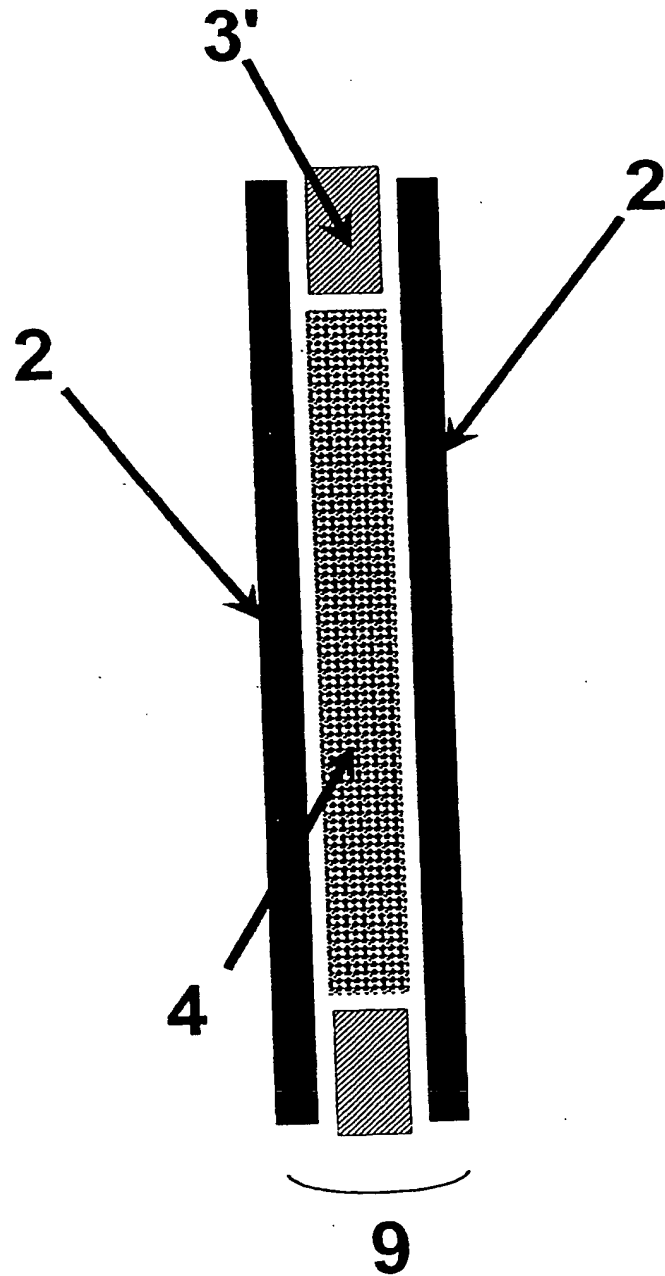


图 3

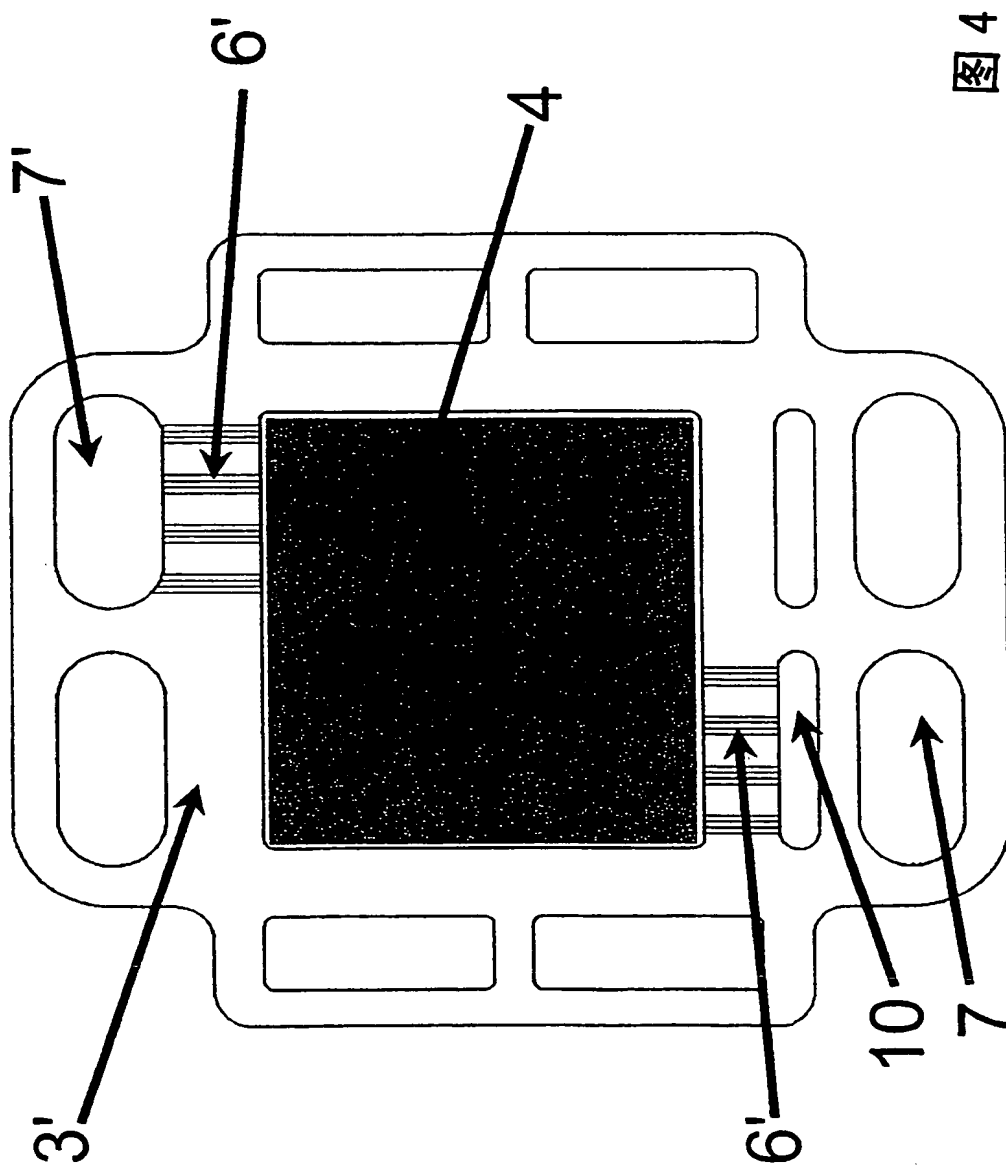


图 4

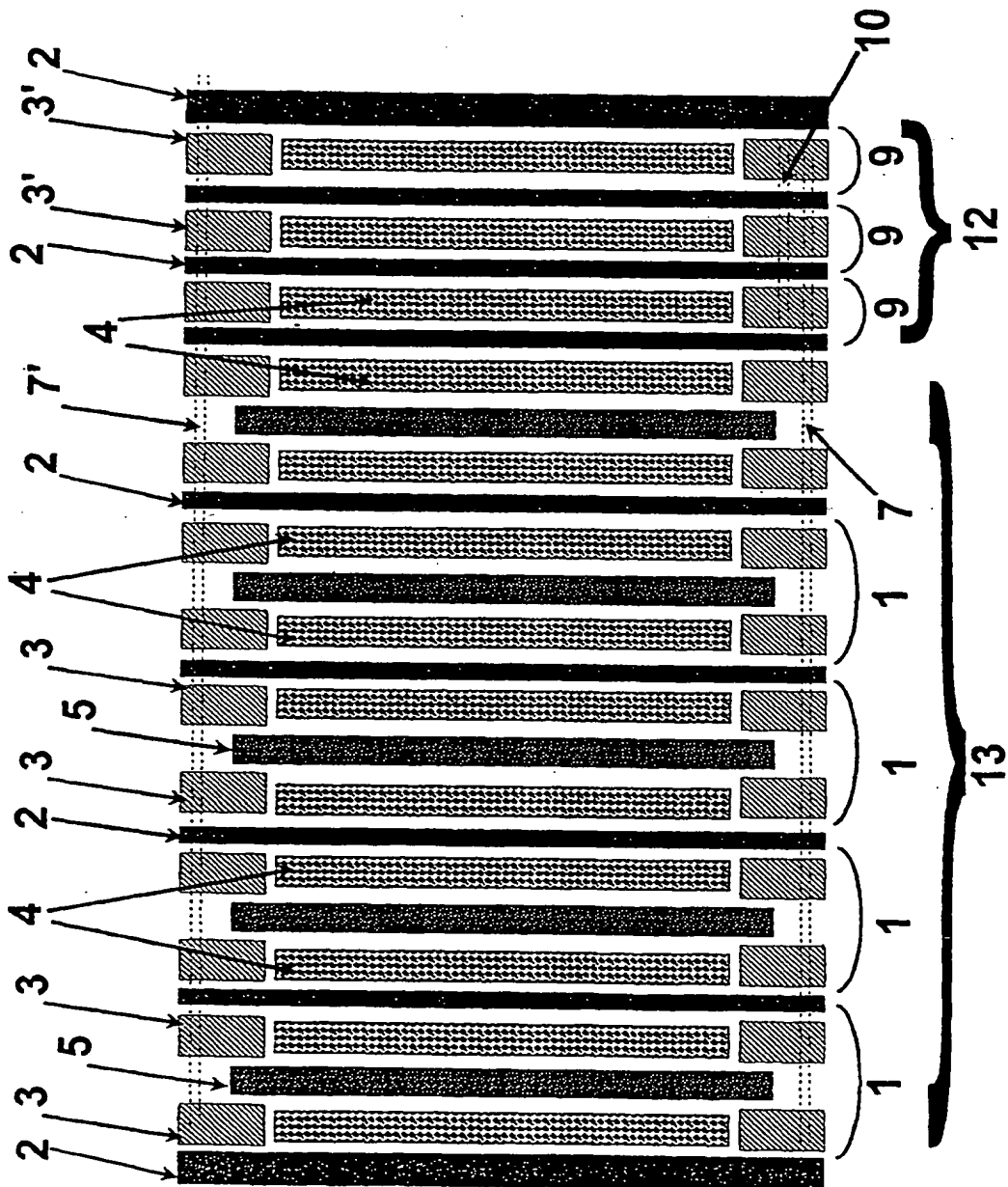


图 5

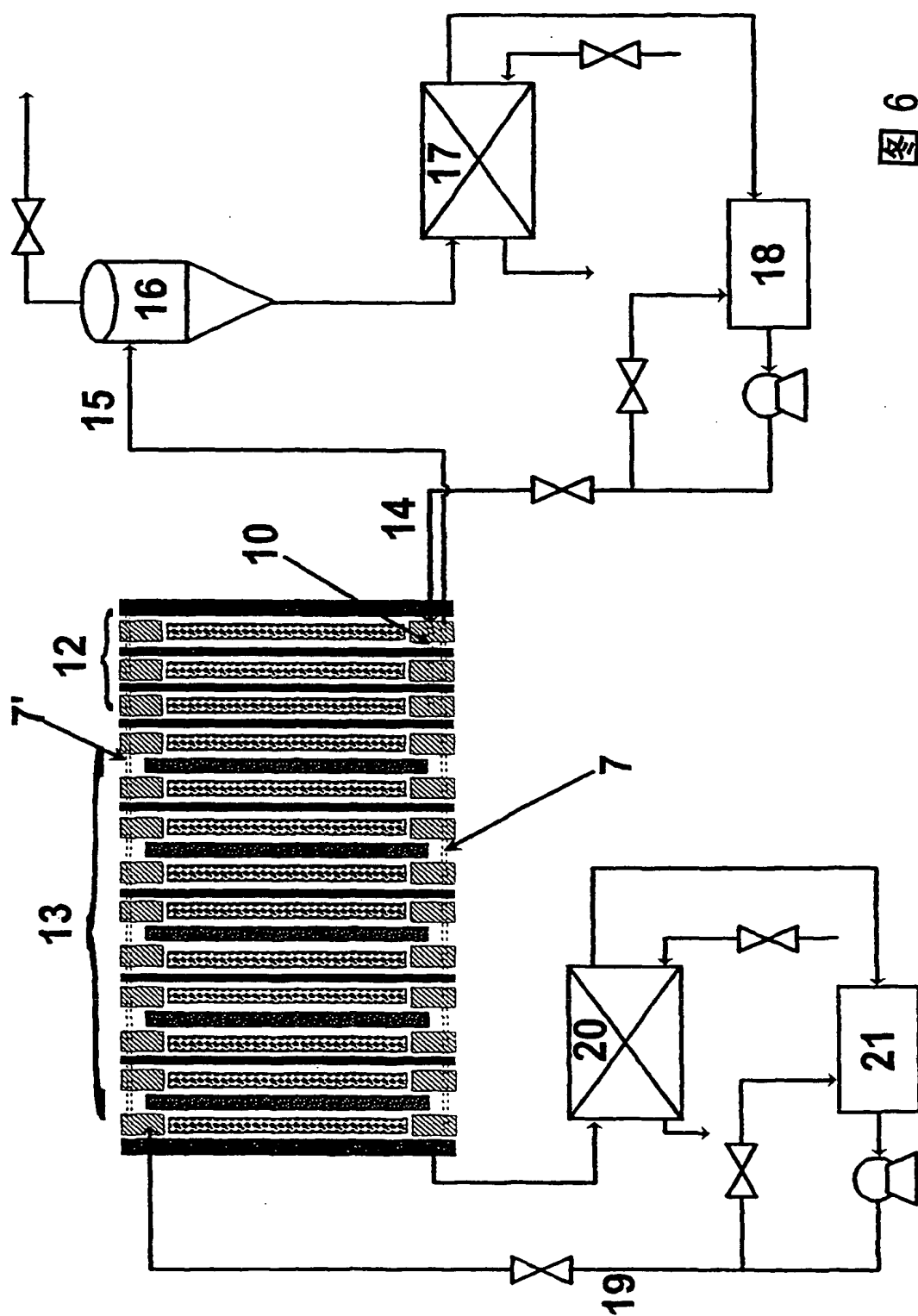


图 6